

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 81401228.2

51 Int. Cl.³: **C 30 B 13/22**
C 30 B 29/06

22 Date de dépôt: 29.07.81

30 Priorité: 01.08.80 FR 8017120

43 Date de publication de la demande:
10.02.82 Bulletin 82/6

84 Etats contractants désignés:
BE DE NL

71 Demandeur: **ELECTRICITE DE FRANCE Service National**
2, rue Louis Murat
F-75008 Paris(FR)

72 Inventeur: **Amouroux, Jacques**
11, rue Pierre et Marie Curie
F-75231 Paris Cedex 05(FR)

72 Inventeur: **Morvan, Daniel**
11, rue Pierre et Marie Curie
F-75231 Paris Cedex 05(FR)

74 Mandataire: **Fort, Jacques et al,**
CABINET PLASSERAUD 84, rue d'Amsterdam
F-75009 Paris(FR)

54 Procédé et dispositif d'élimination du bore dans le silicium par fusion de zone sous plasma réactif.

57 Pour purifier du silicium par fusion de zone et éliminer le bore, on effectue la fusion de zone d'un lingot du silicium en dirigeant sur la zone un jet de plasma chaud obtenu par excitation haute fréquence. Le plasma est constitué d'un mélange de gaz plasmogène, tel que l'argon, et d'oxygène à une teneur suffisamment faible pour ne pas oxyder le silicium. Le lingot de silicium (13) est placé dans une nacelle que l'on déplace par rapport au générateur de plasma (20) pour faire circuler la zone fondue et longue du lingot.

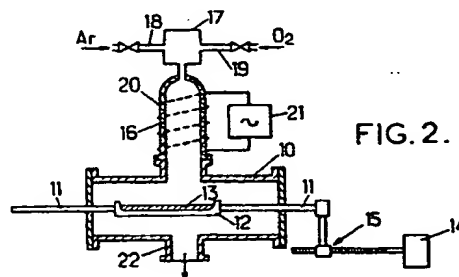


FIG. 2.

Procédé et dispositif d'élimination du bore dans le
silicium par fusion de zone sous plasma réactif

L'invention a pour objet un procédé et un dispositif de purification du silicium par fusion de zone, permettant notamment l'élimination du bore. Elle trouve une application particulièrement importante, bien que non exclusive, constituée par la fabrication de silicium utilisable pour la constitution de cellules photovoltaïques à partir de silicium industriel.

Pour que le silicium soit utilisable pour constituer des cellules photovoltaïques, sa teneur en divers éléments doit être inférieure à des seuils très bas. En particulier, la teneur en éléments qualifiés de "tueurs" d'électrons (V, Cr, Ti, Zr, Na, Cu par exemple) doit être inférieure à 50 ppb. La teneur en éléments neutres (notamment Fe, Ni, Mg, C, Mn) ne doit pas dépasser 1 ppm environ. Enfin, la teneur en éléments dopants constitués par des impuretés, parmi lesquels le bore et l'aluminium sont majoritaires de sorte que le silicium obtenu est de type p, doit être réduite à une valeur extrêmement faible, afin de pouvoir doser de façon très précise la teneur finale en éléments dopants.

On connaît déjà un procédé de purification de silicium par fusion de zone suivant lequel on effectue la fusion d'une zone d'un lingot du silicium à purifier, en dirigeant sur cette zone un jet de plasma chaud obtenu par excitation haute fréquence, et on déplace, l'un par rapport à l'autre, le jet de plasma et le lingot pour faire circuler la zone fondue le long du lingot une ou plusieurs fois. Les procédés connus de ce type utilisent un plasma constitué à partir d'un gaz plasmogène, notamment l'argon, et souvent l'hydrogène, à une teneur plus faible que le gaz plasmogène (FR-A-2 438 499). L'hydrogène a une réactivité qui favorise en effet l'élimination de certaines impuretés. Mais l'élimination du bore reste difficile par ce procédé, comme par les autres procédés de fusion de zone antérieurement connus. En effet, le bore donne avec le silicium des composés définis très stables tels que Si_xB_y . De plus, le bore a un coefficient

de partage théorique dans le silicium entre la phase liquide et la phase solide proche de l'unité.

La présente invention vise à fournir un procédé et un dispositif de purification de silicium répondant mieux que ceux antérieurement connus aux exigences de la pratique, notamment en ce qu'ils permettent d'éliminer le bore.

Dans ce but, l'invention propose un procédé caractérisé notamment en ce que l'on constitue le plasma d'un mélange de gaz plasmogène, tel que l'argon ou l'hélium, et d'oxygène à teneur suffisamment faible pour ne pas oxyder le silicium de façon appréciable.

Le procédé ci-dessus défini va directement à contre-courant des idées communément admises, suivant lesquelles il était nécessaire d'éviter la présence d'oxygène dans le plasma, car on pensait que, même à faible teneur, il conduisait à une oxydation gênante du silicium.

Dans la pratique, on ajustera la teneur en oxygène du plasma à une valeur comprise entre 100 et 300 fois la teneur en bore, ce qui conduit, pour les teneurs en bore du silicium industriel courant, à une teneur en oxygène du plasma qui reste suffisamment faible pour éviter l'oxydation du silicium. Dans la pratique, la teneur en oxygène sera en effet comprise entre 0,005 et 0,1%, selon la teneur initiale en bore du silicium. Plusieurs passages sous le jet de plasma, éventuellement avec des teneurs différentes en oxygène, peuvent être nécessaires pour arriver à une teneur suffisamment faible.

Les résultats favorables obtenus par l'invention peuvent probablement être attribués à la transformation du bore en borosilicate, qui est amené à la surface de la barre et en queue du barreau. Ce borate, produit par la décomposition de Si_xB_y , se transforme en composés volatils de type B_2O_3 qui s'échappent à la surface du lingot de silicium et en queue de celui-ci. Une élimination complémentaire peut être effectuée par attaque à l'acide, après fusion de zone ou après chaque passage. On peut notamment utiliser une attaque par un mélange d'hydracide, en particulier d'acide fluorhydrique, et

d'acide nitrique, suivant une technique en soi connue.

L'adjonction d'oxygène au plasma n'exclut pas l'adjonction simultanée d'une teneur en hydrogène qui sera typiquement de l'ordre de 1% pour profiter de la réactivité propre à l'hydrogène et de l'élévation de température, qui permet l'élimination d'autres impuretés. Par contre, il sera généralement souhaitable d'éviter la présence d'azote qui provoquerait une nitruration du silicium.

Le procédé suivant l'invention peut être mis en oeuvre dans un dispositif qui comporte, de façon classique, une nacelle contenant le lingot à traiter et un moyen de déplacement relatif de la nacelle par rapport à la torche de plasma. Mais cette torche à plasma sera associée à des moyens permettant de l'alimenter en un mélange de gaz plas- mogène et d'oxygène à une teneur ajustable, par exemple à l'aide d'une vanne à fuite contrôlée. La nacelle doit être munie de moyens de refroidissement, de façon que la fusion s'effectue en "auto-creuset", afin qu'aucune impureté de la nacelle ne s'introduise dans le lingot en cours de traitement.

Le plasma lui-même est avantageusement généré par une méthode purement inductive, donc sans aucune électrode qui pourrait également introduire des impuretés dans le plasma.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un procédé de purification qui constitue un mode particulier de réalisation de l'invention, ainsi que d'un dispositif permettant de le mettre en oeuvre, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère au dessin qui l'accompagne, dans lequel :

- la figure 1 est une courbe montrant la variation du taux de bore évaporé hors d'un barreau de silicium, en fonction du pourcentage d'oxygène introduit dans le plasma de traitement, pour un barreau de silicium électronique dopé à 74 ppm de bore ;

- la figure 2 est un schéma de principe d'un dispositif particulier de mise en oeuvre de l'invention ;

- la figure 3 est une courbe représentative de la

répartition du bore dans un barreau de silicium, après traitement par un plasma sans adjonction d'oxygène (courbe en trait plein) et contenant une teneur déterminée d'oxygène (courbe en tirets).

5 Avant de décrire un dispositif permettant de mettre en oeuvre l'invention, on fera apparaître les résultats que permet d'atteindre celle-ci, et l'influence de la teneur en oxygène du plasma.

Des essais effectués ont montré que le bore
10 éliminé, notamment par vaporisation d'un composé volatil, dépend en particulier de la teneur en oxygène du plasma. La courbe de la figure 1 montre, à titre d'exemple, la variation du poids de bore éliminé par évaporation en fonction du pourcentage d'oxygène dans le plasma, dans le
15 cas d'un échantillon constitué par un barreau de silicium de qualité électronique dopé à 74 ppm de bore (soit 10^{17} at/cm³). Les essais, effectués avec un plasma constitué d'argon à 0,1% d'hydrogène, avec une quantité variable d'oxygène, montrent que la teneur de bore éliminé en quatre
20 passages augmente avec la teneur en oxygène du plasma. On peut déduire, d'essais similaires à ceux dont les résultats sont donnés en figure 1, la composition optimale d'oxygène à utiliser pour traiter un silicium particulier. Comme on l'a indiqué plus haut, il sera généralement
25 avantageux d'utiliser une quantité d'oxygène 100 fois à 300 fois plus importante que la quantité de bore à éliminer. Toutefois, cette règle pourrait conduire à utiliser une teneur en oxygène excessive et, dans la pratique, on se limitera à 0,1% environ d'oxygène. Le procédé peut être
30 mis en oeuvre dans le dispositif montré en figure 2. Ce dispositif comporte une enceinte 10 de forme cylindrique à axe horizontal, fermée par des fonds étanches percés d'ouvertures de passage de tiges 11 supportant une nacelle 12 destinée à recevoir le lingot ou barreau 13 de silicium
35 à purifier. Un mécanisme, schématisé par un moteur 14 et une liaison vis-écrou 15, permet de déplacer la nacelle parallèlement à l'axe de l'enceinte 10. Cette dernière porte, à sa partie supérieure, un raccord sur lequel est monté de façon étanche un tube 16 en matériau isolant, par

exemple en quartz, destiné à la formation du plasma. Ce tube reçoit, à sa partie supérieure, un mélange du gaz plasmogène et des additifs, dont l'oxygène. Sur la figure 2, le dispositif d'amenée comporte une chambre de mélange 17 dans laquelle débouchent une conduite 18 d'amenée de gaz plasmogène (argon ou hélium purifié, en général) munie d'une vanne de réglage, et une conduite 19 d'amenée d'oxygène, munie d'une vanne de fuite contrôlée permettant de régler le débit d'oxygène à un niveau très faible et précis.

Le champ haute fréquence de création du plasma est produit par un enroulement 20 bobiné autour du tube 16 et alimenté par un générateur à haute fréquence 21, de puissance suffisante.

L'enceinte 10 peut encore comporter un raccord 22 permettant de relier l'enceinte à une pompe à vide, afin de purger l'enceinte ou d'améliorer la circulation de gaz à une pression voisine de la pression atmosphérique.

La mise en oeuvre du procédé dans le dispositif montré en figure 2 s'effectue suivant un processus très similaire à celui de la fusion de zone, si ce n'est que le plasma dirigé vers le silicium contenu dans la nacelle 12 a une composition différente. De plus, il est indispensable de maintenir la nacelle, par exemple par circulation de fluide réfrigérant, à une température telle que la partie inférieure du lingot reste non fondue. De cette façon, le gradient thermique responsable du processus de purification atteint son efficacité maximale avec un plasma qui chauffe la surface du barreau à une température légèrement inférieure à sa température d'ébullition.

Dans tous les cas, le bore donne naissance à des composés volatils de type B_2O_3 qui s'évaporent par la surface du lingot. Il y a, de plus, concentration en queue du barreau, par le processus classique de fusion de zone. Ce bore, drainé en queue, peut être éliminé par attaque acide.

On peut encore ajouter au plasma une teneur d'hydrogène choisie pour éliminer des impuretés autres que le bore par surchauffe de la surface du lingot.

On décrira maintenant, à titre d'exemples, les

résultats obtenus avec deux échantillons de silicium dopé au bore, de pureté électronique, de façon à permettre le contrôle de la pureté par mesure de résistivité, sans influence d'autres impuretés.

5 Deux types d'échantillons ont été essayés.

Le premier échantillon était constitué par du silicium dopé à 34 ppb de bore, soit 45.10^{15} at/cm³. La résistivité de départ était de 3 Ω cm. Un seul passage sous plasma d'argon à 0,01 % d'oxygène permet d'éliminer le bore presque totalement : la résistivité passe de 3 Ω cm à 150 Ω cm tout au long du parcours. On peut effectuer un second traitement, cette fois avec un plasma argon-hydrogène, pour éliminer les défauts introduits par le premier traitement et obtenir un monocristal. La résistivité passe alors
10 de 150 à 300 Ω cm.
15

Les résultats obtenus sont indiqués par la courbe en tirets de la figure 3, qui montre la teneur finale en bore de l'échantillon le long du barreau, pour une vitesse de traitement de 40 cm/h, avec un débit d'argon de 35 l/mn et un débit d'oxygène de 2,5 cm³/mn. Au cours de la seconde phase, le débit d'hydrogène était de 70 cm³/mn. Une comparaison avec la courbe en trait plein, correspondant à un traitement dans les mêmes conditions, mais sans oxygène, montre qu'au lieu d'une teneur de 0,6 ppb environ tout le long du barreau, on conserve, en queue du barreau, une teneur élevée après deux passages. La teneur moyenne le long du barreau est de 20 ppb environ. L'élimination du bore s'effectue malgré tout, mais très lentement, du fait de la légère teneur d'oxygène contenue dans l'argon utilisé, de l'ordre de 10 ppm.
20
25
30

Le second type d'échantillons était constitué par du silicium contenant 74 ppm de bore. Des essais, notamment ceux qui ont conduit à la courbe de la figure 1, ont été effectués avec un plasma d'argon avec adjonction de 0,1% d'oxygène et 0,1% d'hydrogène. A titre d'exemple, on peut indiquer que l'élimination de 20 ppm de bore a exigé quatre passages sous plasma oxygéné, alors qu'à très faible concentration d'oxygène (0,01%), la teneur de bore éliminé sur la partie purifiée dans les mêmes conditions
35

opératoires a été de 8 ppm seulement.

Il ressort de ces essais que l'on purifie de façon parfaitement satisfaisante un silicium métallurgique contenant 5 à 10 ppm de bore par le procédé suivant

5 l'invention, sans introduction d'impuretés annexes ayant un effet nuisible sur les propriétés photovoltaïques.

Revendications

1. Procédé de purification de silicium par fusion de zone, suivant lequel on effectue la fusion d'une zone d'un lingot du silicium à purifier, en dirigeant sur cette zone un jet de plasma chaud obtenu par excitation haute fréquence, et on déplace, l'un par rapport à l'autre, le jet et le lingot pour faire circuler la zone fondue le long du lingot, caractérisé en ce que l'on constitue le plasma d'un mélange de gaz plasmogène, tel que l'argon, et d'oxygène à une teneur suffisamment faible pour ne pas oxyder le silicium de façon appréciable.

2. Procédé suivant la revendication 1 de purification de silicium par élimination du bore, caractérisé en ce que l'on ajuste la teneur en oxygène du plasma à une valeur comprise entre 100 fois et 300 fois la teneur en bore.

3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on ajuste la teneur en oxygène du plasma à une valeur comprise entre 0,005% et 0,1%.

4. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on crée le plasma par procédé purement inductif, sans électrodes.

5. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on décape à l'acide le barreau pour éliminer les composés de bore, drainé en surface après fusion.

6. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on ajoute de l'hydrogène au gaz plasmogène et à l'oxygène.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on fait suivre le traitement par un plasma contenant de l'oxygène par un traitement par un plasma sans oxygène pour éliminer les défauts.

8. Dispositif de purification de silicium, notamment en vue de l'élimination du bore, par fusion de zone, caractérisé en ce qu'il comprend une enceinte (10) étanche, des moyens pour faire circuler dans l'enceinte un lingot ou barreau (13) de silicium à purifier, des moyens pour introduire dans l'enceinte, à travers un tube

isolant, un mélange de gaz plasmogène et de l'oxygène, munis de moyens de réglage de la teneur en oxygène à une valeur comprise entre 0,005% et 0,1%, des moyens (20, 21) pour faire régner dans le tube (16) un champ électrique
5 haute fréquence de création de plasma, et des moyens pour déplacer le lingot ou barreau de façon à faire circuler les zones successives de ce barreau ou lingot dans le jet de plasma.

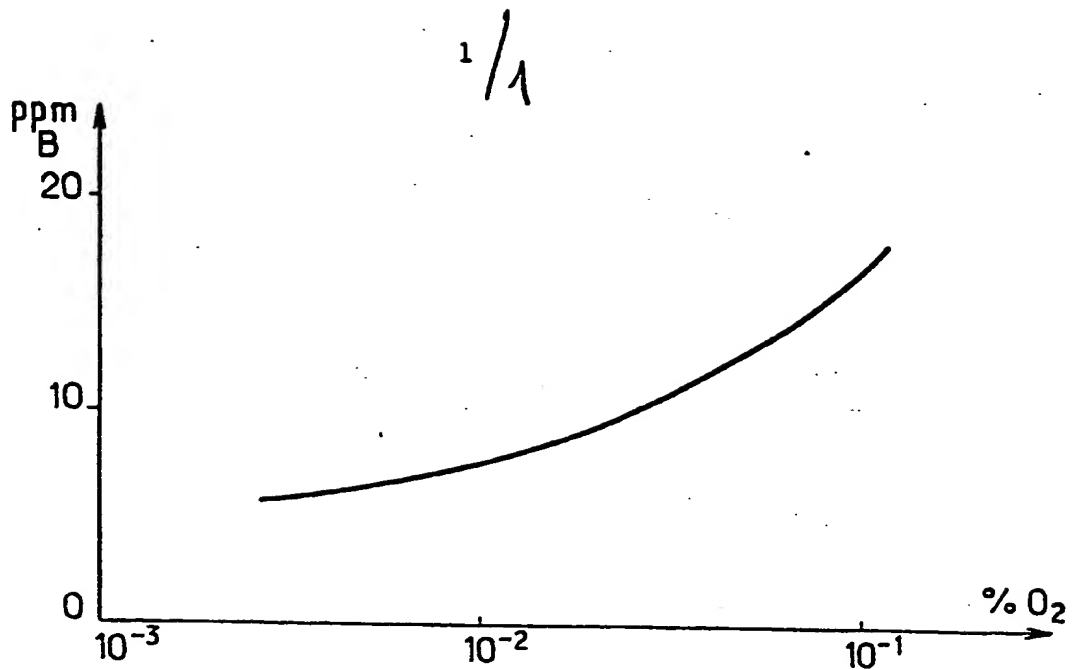


FIG. 1.

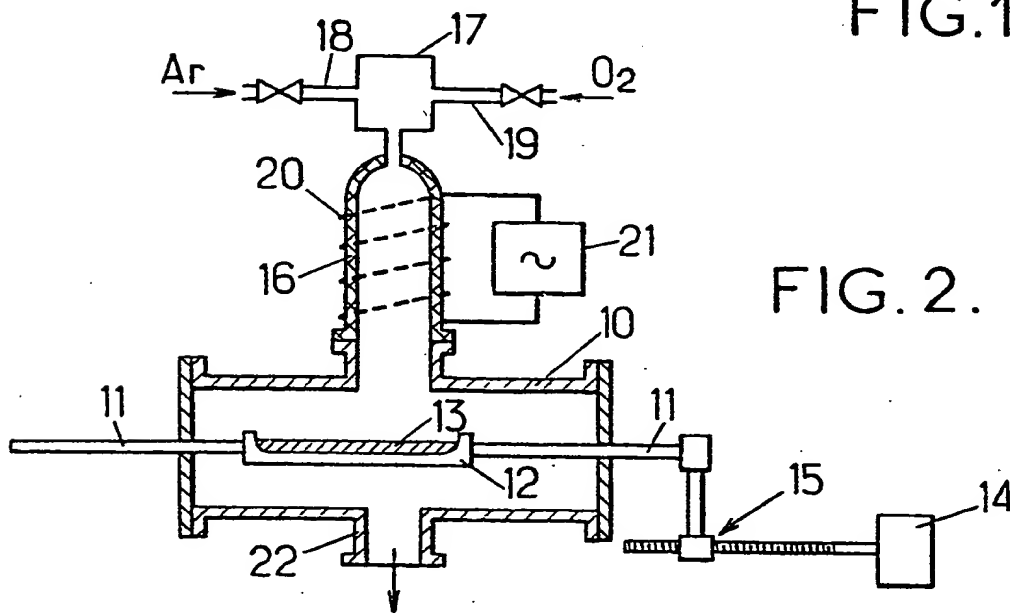
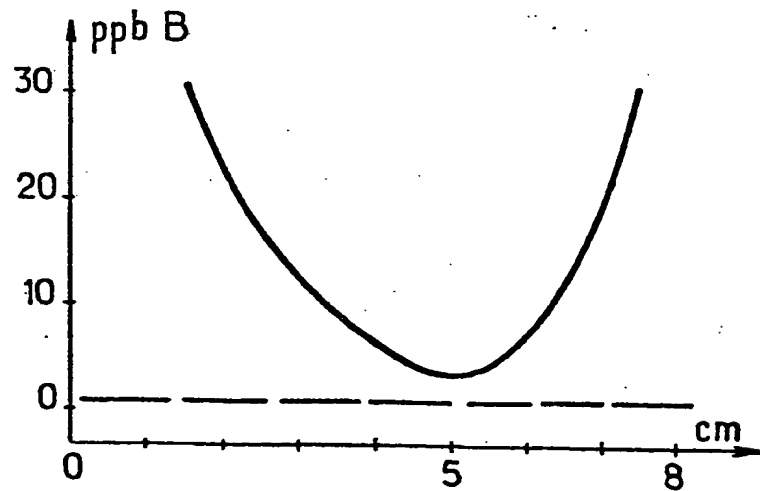


FIG. 2.

FIG. 3.



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 1)
Categorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
	DE - A - 2 608 965 (WACKER-CHEMI-TRONIC) * Revendications 1,2 *	1,3	C 30 B 13/22 29/06
	--		
	FR - A - 2 438 499 (ANVAR) * Revendications 1,4,5 *	1,6	
	--		
A	DE - A - 1 619 951 (CONSORTIUM FUR ELEKTROCHEMISCHE INDUSTRIE)		
A	FR - A - 1 469 486 (THE GENERAL TRUSTEE) -----		C 30 B 13/22 29/06
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 2)
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cite dans la demande L: document cite pour d'autres raisons
<input checked="" type="checkbox"/> Le present rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			&: membre de la même famille, document correspondant
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		11-11-1981	BRACKE